

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 663 491 A5

⑤ Int. Cl. 4: H 01 L 23/14
H 01 L 23/56

// H 01 L 25/16

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑯ Gesuchsnummer: 933/84

⑯ Inhaber:
BBC Brown Boveri AG, Baden

⑯ Anmeldungsdatum: 27.02.1984

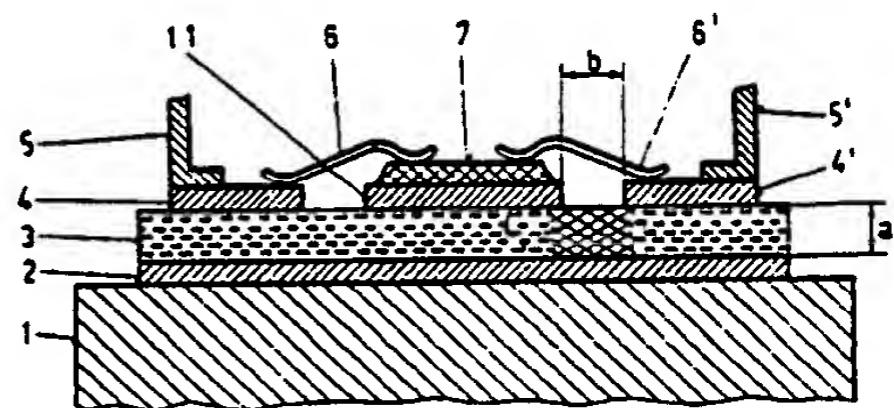
⑯ Patent erteilt: 15.12.1987

⑯ Patentschrift
veröffentlicht: 15.12.1987

⑯ Erfinder:
Gobrecht, Jens, Dr., Gebenstorf

⑮ Elektronisches Schaltungsmodul.

⑯ Bei einem elektronischen Schaltungsmodul, bei dem auf einem Substrat (3) Montageflächen (11) für Halbleiterbauelemente (7) und Leiterbahnen (4, 4') für den Anschluss der Halbleiterbauelemente (7) nebeneinander angeordnet und durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, wird durch die Verwendung von Varistormaterial für das Substrat (3) ein hybrides Modul mit integriertem Überspannungsschutz geschaffen, das sich einfach herstellen lässt und sich durch hohe Belastbarkeit auszeichnet.



Die Aufgabe wird bei einem elektronischen Schaltungsmo-
dul der eingangs genannten Art durch die Merkmale aus dem
Kennzeichen des Anspruchs 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Ausführung des Substrats aus Vari-
stornmaterial mit einer hinreichend nichtlinearen Strom-Span-
nungscharakteristik und die auf den erwünschten Begrenzungseffekt abgestimmte Wahl der Abstände zwischen den Leiterflä-
chen ermöglichen einen integrierten Überspannungsschutz, der
ohne zusätzliche Verfahrensschritte innerhalb der Modulherstel-
lung realisiert werden kann und zugleich die für leistungselek-
tronische Anwendung erforderliche Belastbarkeit und Höhe der
Begrenzspannung aufweist.

Neben der integrierten Spannungsbegrenzung zwischen den
einzelnen Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats ist bei
einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine metalli-
sche Rückenplatte auf der Unterseite des Substrats vorgesehen,
die als geerdete Bezugselektrode mit dem zwischen Ober- und
Unterseite liegenden Substratmaterial eine zusätzliche Span-
nungsbegrenzung der Leiterflächen gegen Massepotential ge-
währleistet und die thermische Ankopplung des Moduls an ei-
nen darunterliegenden Kühlkörper verbessert.

Um eine Begrenzungskennlinie mit scharf definiertem Ein-
satzpunkt zu erhalten, ist es besonders vorteilhaft, als Varistor-
material eine Keramik auf der Grundlage eines Metalloxids zu
wählen, wobei sich insbesondere mit ZnO Werte für den Exponen-
tenten α in der Größenordnung von 30 erreichen lassen.

Besonders günstige Verhältnisse für die Wärmeableitung
von der Schaltung durch das Substrat auf einen darunterliegen-
den Kühlkörper werden erhalten, wenn als Varistormaterial ei-
ne Keramik auf der Grundlage von SiC mit Beimengungen von
BeO eingesetzt wird, die ein spannungsbegrenzendes Verhalten
mit hoher Wärmeleitfähigkeit kombiniert.

Die Erfindung soll nun nachfolgend mit Bezug auf die
Zeichnungen anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert
werden. Es zeigen:

Fig. 1 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungs-
modul nach der Erfindung mit Rückenplatte auf einem Kühl-
körper;

Fig. 2 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungs-
modul gemäß Fig. 1 mit zusätzlicher Zwischenleit- und Isolier-
keramikschicht;

Fig. 3 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungs-
modul gemäß Fig. 1 mit zusätzlichen Vertiefungen im Substrat
zwischen den Leiterflächen;

Fig. 4 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungs-
modul gemäß Fig. 2 mit teilweise direkter Montage der Halb-
leiterbauelemente ohne Spannungsbegrenzung;

Fig. 5 die perspektivische Ansicht eines elektronischen
Schaltungsmoduls nach der Erfindung mit definierter Veren-
gung zwischen den Leiterflächen, und

Fig. 6 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungs-
modul nach der Erfindung ohne Rückenplatte.

In Fig. 1 ist der Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel
eines elektronischen Schaltungsmoduls nach der Erfindung dar-
gestellt. Auf die Oberseite eines Substrats 3 sind metallische
Leiterflächen, vorzugsweise aus Cu, aufgebracht. Diese Leiter-
flächen haben die Form von Leiterbahnen 4, 4' und Montage-
flächen 11. Auf die Montageflächen 11, von denen in Fig. 1 nur
eine beispielhaft gezeigt ist, sind Halbleiterbauelemente 7 aufge-
lötet, deren innere Struktur in der Abbildung aus Gründen der
Übersichtlichkeit nicht näher bezeichnet ist, und die als Thyri-
storen, Dioden oder Transistoren ausgestaltet sein können.

Die Leiterbahnen 4, 4' dienen als Anschlussbahnen für die
Halbleiterbauelemente 7 und stellen gleichzeitig die Verbindun-
gen zwischen verschiedenen Bauelementen innerhalb eines Mo-
duls her. Ist das Halbleiterbauelement 7 der Fig. 1 beispielswei-
se ein Leistungsthystistorchip, das mit seiner Anodenseite auf

zwischen der Gate-Elektrode und Kathode und den entspre-
chenden Leiterbahnen 4 und 4' z.B. durch Bonddrähte 6 und
6' hergestellt. Für den externen Anschluss des Moduls können
Anschlusslaschen 5 und 5' vorgesehen werden, die auf die Lei-
terbahnen 4 und 4' aufgelötet sind und durch ein nicht gezeig-
tes Modulgehäuse hindurch nach aussen geführt werden.

Auf der Unterseite des Substrats 3 ist bei dem Modul der
Fig. 1 eine Rückenplatte 2, ebenfalls aus Cu, vorgesehen, die,
ebenso wie die Leiterbahnen 4, 4' und Montageflächen 11, mit
dem Substrat 3 durch einen Verbindungsprozess verbunden
worden ist, der als «direct bonding» beispielsweise aus der EP-
A1 0 049 007 bekannt ist und mittels einer eutektischen Cu/
CuO-Schmelze eine feste Verbindung zwischen Substrat und
Kupferschicht ermöglicht. Die Rückenplatte 2 steht mit ihrer
dem Substrat 3 abgewandten Seite in thermischem Kontakt zu
einem Kühlkörper 1, über den die im Modul entstandene Wär-
me nach aussen abgeführt wird.

Neben ihrer Funktion als geerdete Bezugselektrode, auf die
im weiteren Verlauf noch näher eingegangen wird, verbessert
die Rückenplatte 2 den Wärmeübergang zwischen Substrat 3
und Kühlkörper 1 und erhöht die Gleichmässigkeit der Tempe-
raturverteilung am Übergang zum Kühlkörper 1.

Der Kern der Erfindung besteht nun darin, für das Substrat
3 ein Varistormaterial einzusetzen, das bei auftretenden Über-
spannungen zwischen den Leiterflächen teilweise leitend wird
und einen parallelgeschalteten Ableitwiderstand bildet, der die
schädlichen Überspannungen abbaut, ohne die Funktion der
Schaltung grundsätzlich zu beeinträchtigen.

Ein solches Varistormaterial, wie es aus der Technik der
Überspannungsableiter bekannt ist und z.B. in der US-PS
3 896 480 beschrieben wird, zeichnet sich durch eine extrem
nichtlineare Strom-Spannungskennlinie aus: Bei kleinen Feld-
stärken wirkt das Material für alle praktischen Fälle als Isolator
und wird erst oberhalb einer gewissen Feldstärke gut leitend.
Die Kennlinie der Abhängigkeit des Stromes J von der Span-
nung U lässt sich durch die Funktion

$$J = \left(\frac{U^a}{C} \right)$$

beschreiben, wobei α eine für das Material charakteristische
Konstante ist und der Koeffizient C die geometrische Struktur
des betreffenden Varistorelements berücksichtigt.

Für die bekannten Sinterkeramiken auf der Basis des Me-
talloxids ZnO, die üblicherweise weitere Metalloxide, wie z.B.
Wismutoxid (Bi_2O_3) als Zusätze enthalten, ergeben sich für die
Konstante α Werte im Bereich von 10 - 50. Solche Varistorkera-
miken können mit Vorteil als Material für das Substrat 3 einge-
setzt werden, wenn der Einsatzpunkt für die Spannungsbegren-
zung besonders scharf definiert sein soll.

Hinsichtlich des Wärmeleitwiderstandes zwischen der Schaltung
und dem Kühlkörper 1 bedeutet die Verwendung einer ZnO-
Varistorkeramik für das Substrat gegenüber der üblicherweise
eingesetzten, isolierenden Al_2O_3 -Keramik keine Veränderung,
weil die Wärmeleitfähigkeit für beide Keramiktypen praktisch
gleich ist. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung bei
Leistungsmodulen, bei denen der sicheren Wärmeabfuhr eine
wichtige Rolle zufällt.

Beim Betrieb eines elektronischen Schaltungsmoduls der in
Fig. 1 gezeigten Konfiguration können zwei Arten der Span-
nungsbegrenzung auftreten: die horizontale Begrenzung zwi-
schen zwei Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 und
die vertikale Begrenzung zwischen einer der Leiterflächen und
der gegenüberliegenden, geerdeten Rückenplatte 2.

Im ersten Fall wird die Begrenzerfunktion von einem loka-
len Varistorelement übernommen, das durch den Teil des Sub-
stratmaterials abgebildet wird, der im Zwischenraum zwischen

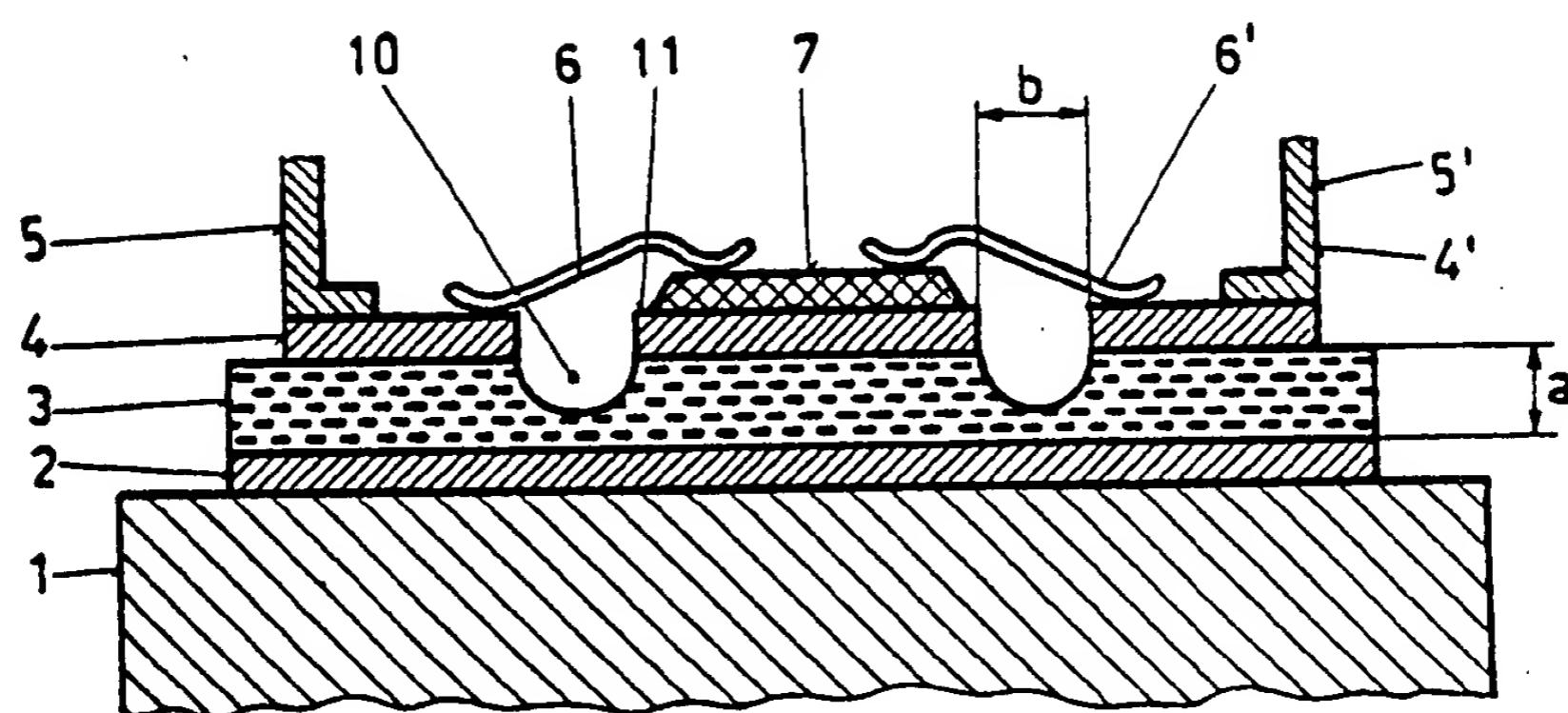


FIG. 3

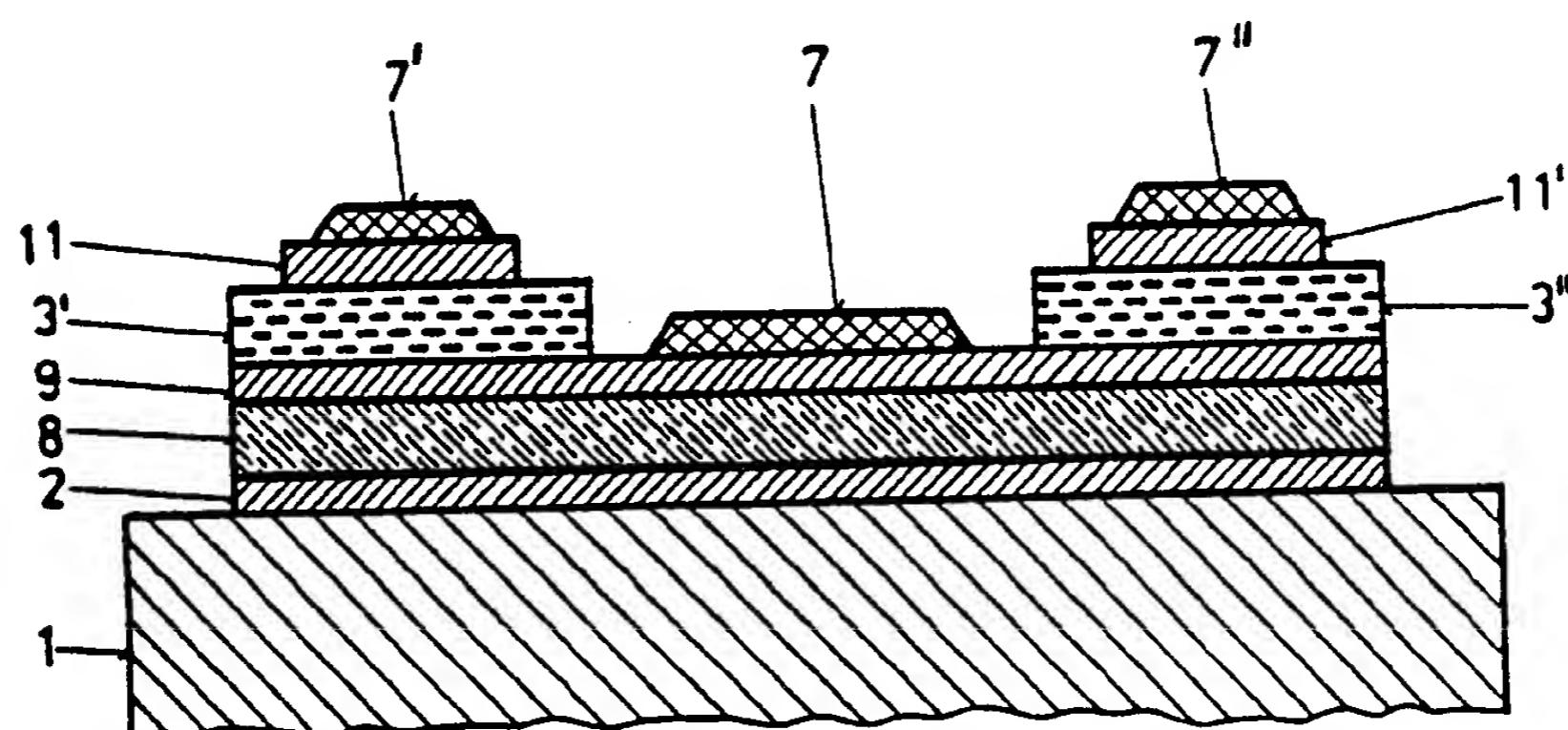


FIG. 4

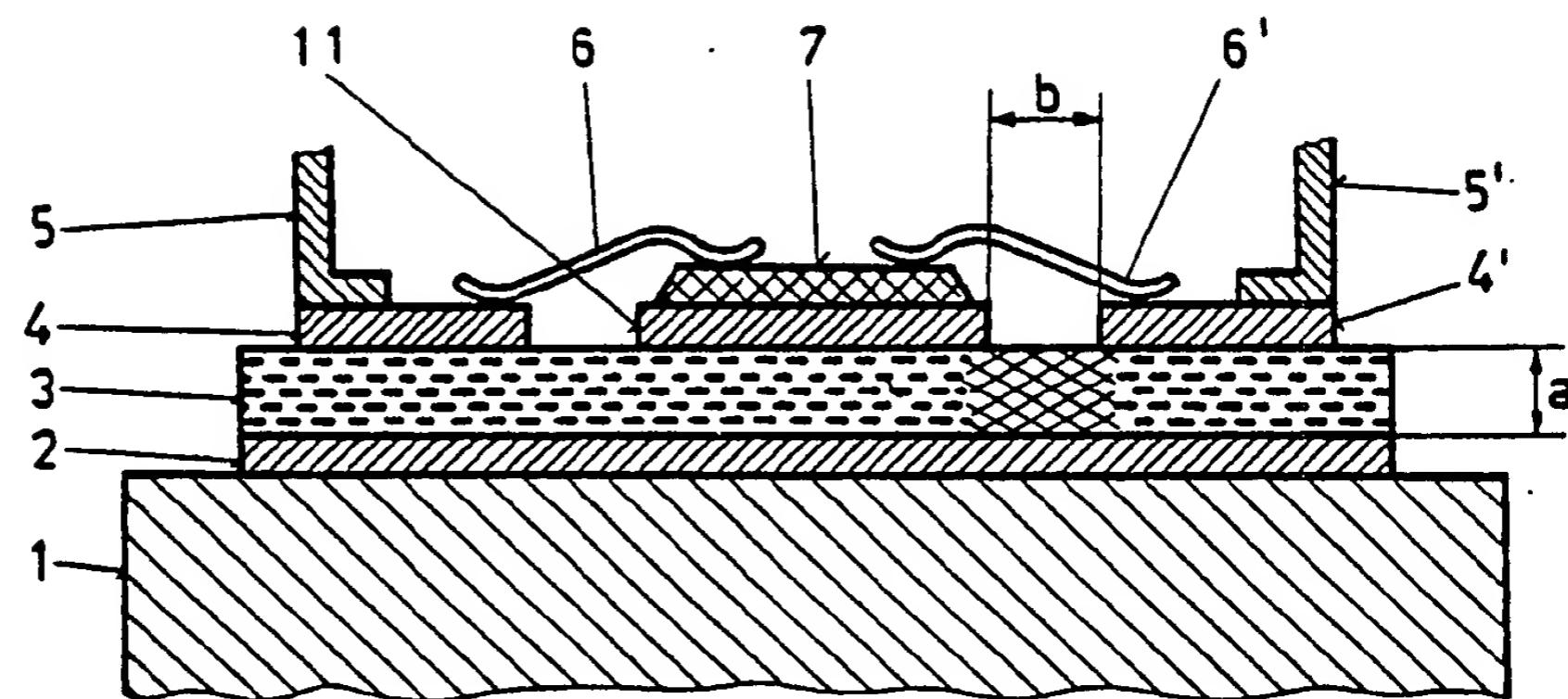


FIG. 1

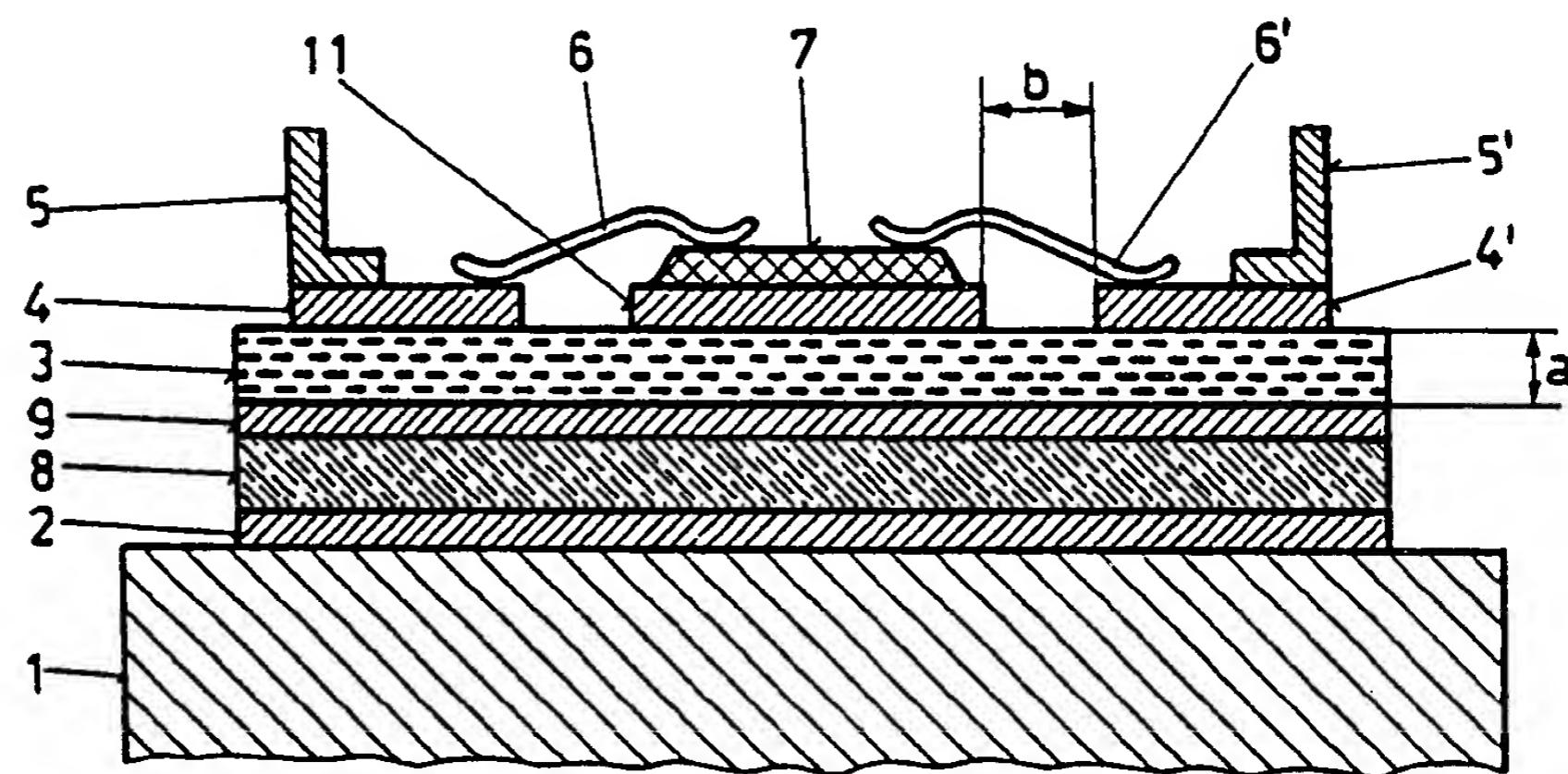


FIG. 2

Schliesslich kann für die Anwendungsfälle, bei denen eine vertikale Spannungsbegrenzung nicht notwendig ist, gemäss dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 auf eine Rückenplatte auf der Unterseite des Substrats 3 ganz verzichtet werden, wenn eine thermische Ankopplung an einen Kühlkörper nicht vorgesehen ist, oder die direkte thermische Ankopplung der Substrat-

keramik an einen darunterliegenden Kühlkörper für die auftretenden Betriebsfälle ausreicht.

Insgesamt stellt das elektronische Schaltungsmodul nach der Erfindung ein Modul mit integriertem Überspannungsschutz dar, das sich durch Einfachheit in Herstellung und Aufbau auszeichnet und eine hohe Belastbarkeit aufweist.

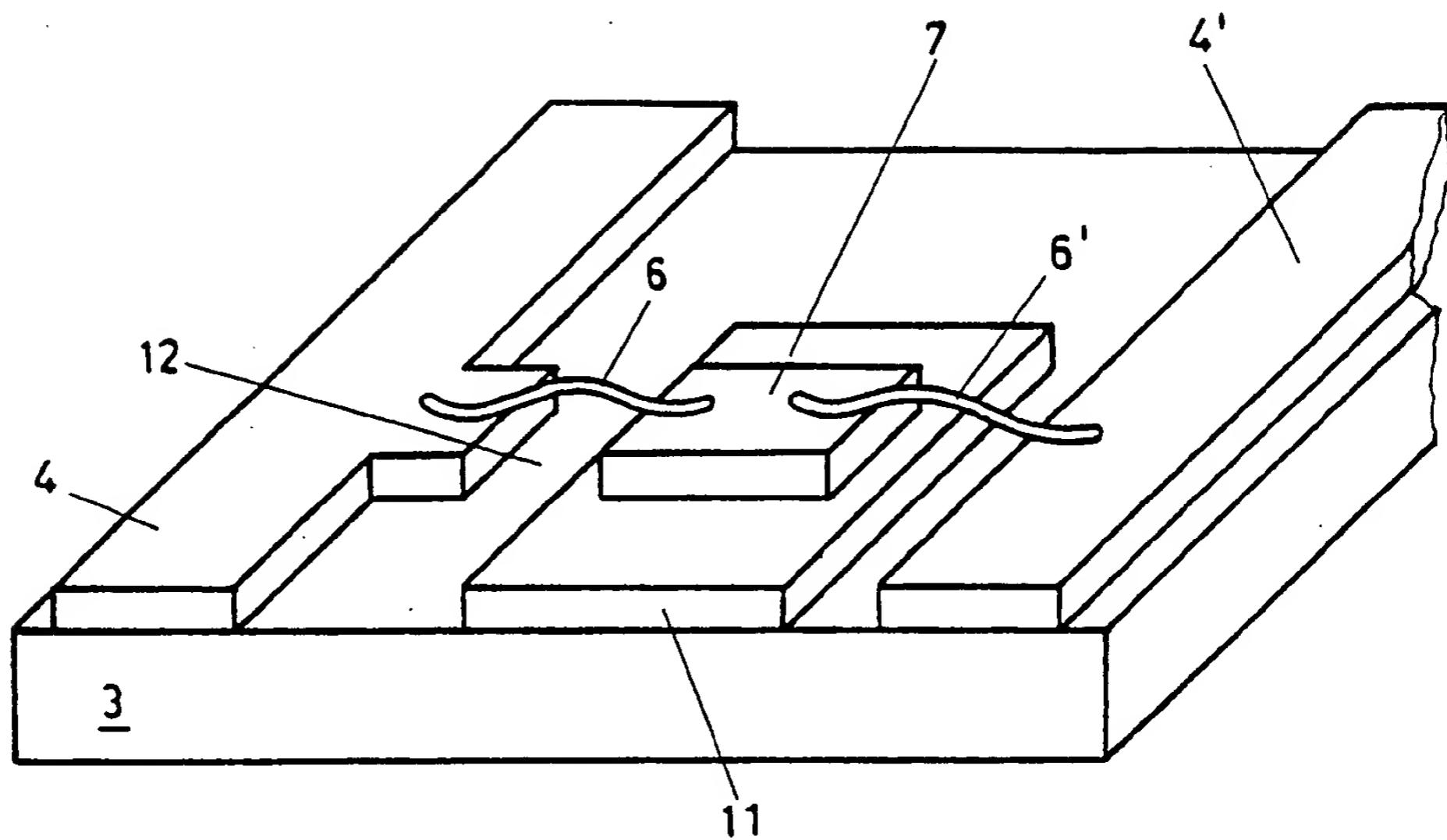


FIG.5

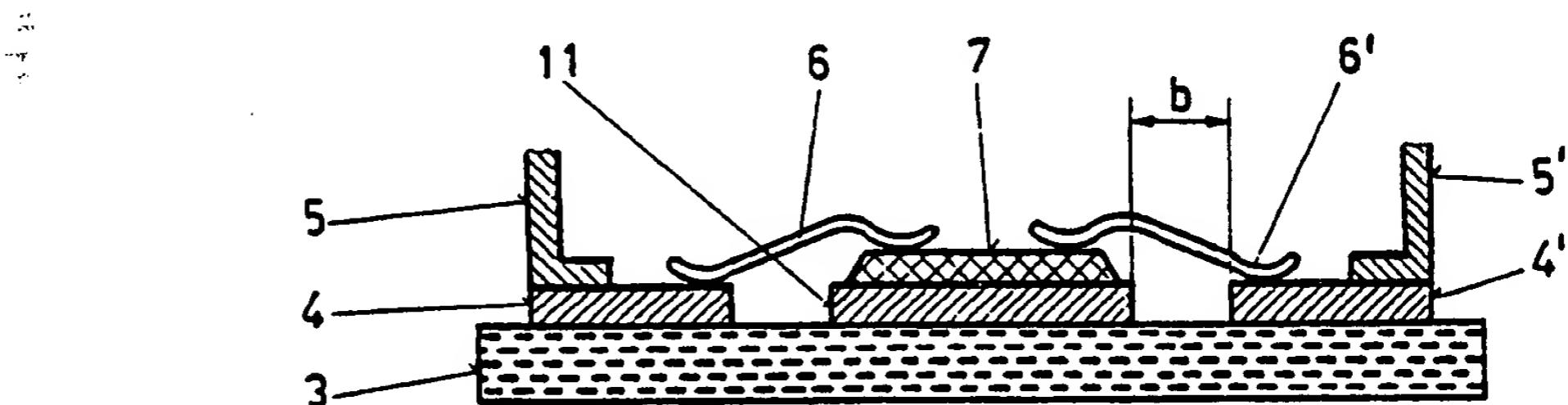


FIG.6

se zwischen der Montagefläche 11 und der Leiterbahn 4' ein. Überspannung, die normalerweise zu einer Zerstörung des Bonddrahtes 6' durch einen Stromstoß führen könnte, wird der durch Kreuzschräffur in Fig. 1 kennzeichnend gemachte Bereich im Substratmaterial leitend und überträgt einen Teil des entstehenden Überstromes. Der Einsatzpunkt der Begrenzung, d.h. die Grenzspannung, bei der das betreffende Substratmaterial seine Isolationsfähigkeit verliert, wird im wesentlichen durch die Breite b des Zwischenraumes bestimmt. Je grösser b gewählt wird, desto später setzt die Begrenzung ein. Bei der Strukturierung der Leiterflächen durch einen der üblichen Phototätzprozesse kann daher auf einfache Weise die Grenzspannung zwischen zwei Leiterflächen durch geeignete Wahl des Parameters b festgelegt werden. Die Belastbarkeit des lokalen Varistorelements wächst dabei mit der Länge, über welche die benachbarten Leiterflächen auf dem Substrat parallel verlaufen.

Im zweiten Fall der vertikalen Begrenzung wird die Grenzspannung im wesentlichen durch die Dicke a des Substrats 3 bestimmt. Aus Gründen der mechanischen Stabilität ist es vorteilhaft, die Dicke a grösser als 0,5 mm zu wählen, um den «direct bonding»-Prozess für die Verbindung zwischen Substratkera mik und Cu-Platten ohne Schwierigkeiten durchführen zu können und eine Verbiegung der Sandwich-Struktur aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten zu vermeiden. Insbesondere sollte die Dicke a deutlich grösser sein als die Schichtdicken der Cu-Leiterflächen und der Rückenplatte 2, um die thermische Ausdehnung der Sandwich-Struktur, die dann hauptsächlich durch den Ausdehnungskoeffizienten der Substratkera mik bestimmt wird, besser an die Ausdehnung der aus Silizium bestehenden Halbleiterbauelemente anzupassen. Da der Ausdehnungskoeffizient der Varistorkeramiken wesentlich näher an dem des Siliziums liegt ($ZnO: 5,7 \times 10^{-6}/^{\circ}C; Si: 4 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) als dies für Cu der Fall ist ($Cu: 17 \times 10^{-6}/^{\circ}C$), können auf diese Weise thermische Ermüdungserscheinungen innerhalb des Moduls besser vermieden werden.

Die Schichtdicke der Leiterflächen wird im wesentlichen durch die im Betrieb auftretende Strombelastung bestimmt. Dicken zwischen 0,2 und 0,5 mm haben sich dabei als vorteilhaft herausgestellt.

Besonders günstig ist die erfindungsgemässse Integration des Überspannungsschutzes in das Modul-Substrat für die Ableitung der im Überspannungsfall in den lokalen Varistorelementen auftretenden Wärme. Da das Substrat 3 in engem thermischen Kontakt mit dem Kühlkörper 1 steht, ist eine sichere und gleichmässige Wärmeabfuhr auch bei höheren Leistungen gewährleistet. Die Wärmeleitungseigenschaften der ZnO-Keramik sind in diesem Zusammenhang vergleichbar mit denen der sonst verwendeten, isolierenden Al_2O_3 -Keramik, die eine Wärmeleitfähigkeit von etwa $20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ aufweist. Entscheidende Verbesserungen in der Wärmeableitung lassen sich erreichen, wenn statt einer ZnO-Keramik für das Substrat 3 eine neu entwickelte SiC-Keramik verwendet wird, die unter dem Namen «Hitaceram SC 101» von der Firma Hitachi Ltd., Ibaraki-Ken, Japan, im Handel angeboten wird. Diese SiC-Keramik mit einem Zusatz aus BeO zeigt einerseits einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der weitgehend mit dem des Siliziums übereinstimmt, und wirkt daher in idealer Weise den bereits erwähnten thermischen Ermüdungserscheinungen entgegen. Zum anderen hat «Hitaceram SC 101» eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 240 bis 270 $\text{W/m}\cdot\text{K}$, die um eine Grössenordnung höher ist als beim ZnO, und daher eine weitere Steigerung der thermischen Belastbarkeit des Moduls ermöglicht.

Anders als beim ZnO ist die Varistoreigenschaft der SiC-Keramik nicht so ausgeprägt. Die Nichtlinearität der Stromspannungskennlinie lässt sich durch einen Exponenten von etwa 6,5 beschreiben. Diese Nichtlinearität sichert für ein Substrat aus

Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein elektronisches Schaltungsmodul nach der Erfindung dargestellt. Zwischen der aus Fig. 1 bekannten Rückenplatte 2 und dem Substrat 3 aus Varistormaterial ist hier eine Schichtfolge aus einer Zwischenleitschicht 9 und einer Isolierkeramikschicht 8 eingefügt. Die Zwischenleitschicht 9 besteht vorzugsweise ebenfalls aus Kupfer und ist mit den angrenzenden Keramikschichten 3 und 8 mittels des erwähnten «direct bonding»-Prozesses verbunden worden. Die Isolierkeramikschicht 8 ist vorzugsweise aus der bekannten Al_2O_3 -Keramik aufgebaut und isoliert das Schaltungsmodul mit der im Substrat 3 integrierten Spannungsbegrenzung vom Potential des Kühlkörpers 1. Die Zwischenleitschicht 9 übernimmt hier die Funktion der Rückenplatte 2 in einer Anordnung nach Fig. 1, d.h. sie dient als rückwärtige Elektrode für die vertikale Spannungsbegrenzung und kann auf ein vom Kühlkörper 1 unabhängiges Bezugspotential gelegt werden.

Eine Weiterbildung der Anordnung aus Fig. 2 mit den beschriebenen Zwischenschichten 8 und 9 ist in Fig. 4 schematisch wiedergegeben. In dieser Weiterbildung wird unterschieden zwischen überspannungsempfindlichen Halbleiterbauelementen 7' und 7'', die in bereits bekannter Weise über Substrate 3' und 3'' aus Varistormaterial mit der Zwischenleitschicht 9 in Verbindung stehen, und unempfindlichen Halbleiterbauelementen 7, die in Teilebereichen des Moduls ohne Überspannungsschutz direkt auf die Zwischenleitschicht 9 aufgebracht sind. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Grenzwerte verschiedener Halbleiterbauelemente optimal berücksichtigt werden.

Eine zusätzliche Möglichkeit, die horizontalen Begrenzungseigenschaften des Substrats 3 nach dem Aufbau der Schichtstruktur zu beeinflussen, ist in Fig. 3 dargestellt. Bei vorgegebener Breite b der Zwischenräume zwischen den Leiterflächen, die eine minimale Grenzspannung der lokalen Varistorelemente festlegen, lässt sich der Einsatzpunkt für die Spannungsbegrenzung durch Vertiefungen 10 nach oben verschieben, die in den Zwischenräumen zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 vorgesehen sind. Die Vertiefungen 10 können beispielsweise durch einen der aus der Halbleitertechnologie bekannten Abtragungsprozesse wie Plasmaätzen in die Substratoberseite eingebracht werden. Sie vergrössern die effektive Länge der lokalen Varistorelemente und ermöglichen so eine nachträgliche, individuelle Veränderung der Begrenzungsparameter. Zugleich können mit den Vertiefungen 10 die nichthomogenen Verteilungen der elektrischen Feldstärke zwischen den benachbarten Kanten der Leiterflächen berücksichtigt werden, die zu lokalen Strompfaden im Varistormaterial führen und die lokalen Varistorelemente irreversibel schädigen können.

Die horizontale Spannungsbegrenzung zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 wird, wie bereits erwähnt, im wesentlichen durch die Breite b der Zwischenräume bestimmt. Diese Breite b ist jedoch nur dann eindeutig definiert, wenn die betreffenden Leiterflächen auf beiden Seiten des Zwischenraumes über die gesamte Substratlänge parallel verlaufen. Eine solche Forderung schränkt die Gestaltungsmöglichkeiten für die geometrische Form der Leiterflächen erheblich ein. Gemäss einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird daher, wie in Fig. 5 dargestellt, zumindest eine der Leiterflächen so ausgebildet, dass sich in dem Zwischenraum eine Verengung 12 mit definierter Breite und Länge ergibt, die im wesentlichen die Begrenzungseigenschaften des zugehörigen lokalen Varistorelements bestimmt. Voraussetzung dafür ist ein hinreichend grosser Unterschied zwischen der Breite innerhalb der Verengung 12 und der Breite ausserhalb der Verengung 12. Die Länge der Verengung 12 ist dabei für die Strombelastbarkeit des Varistorelements von Bedeutung. Auf die beschriebene Weise lassen sich lokale Varistorelemente mit festgelegten Be-

PATENTANSPRÜCHE

1. Elektronisches Schaltungsmodul, insbesondere für die hybride Integration von Leistungs-Halbleiterbauelementen, mit einem Substrat (3), auf dessen Oberseite eine Mehrzahl von Leiterflächen in Form von Montageflächen (11) für Halbleiterbauelemente (7) und Leiterbahnen (4, 4') für den Anschluss der Halbleiterbauelemente (7) nebeneinander angeordnet und durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (3) aus einem Varistormaterial besteht, dessen nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie der Form $J \sim U^\alpha$ durch einen Exponenten $\alpha > 5$ charakterisiert ist, und dass die Breite (b) der Zwischenräume zwischen den jeweiligen benachbarten Leiterflächen so gewählt ist, dass das zwischen den Leiterflächen liegende Varistormaterial einen Spannungsbegrenzer zum Schutz angeschlossener Halbleiterbauelemente vor Überspannungen bildet.

2. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Unterseite des Substrats (3) eine metallische Rückenplatte (2), vorzugsweise aus Kupfer, angeordnet ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) zwischen den Leiterflächen und der Rückenplatte (2) so gewählt ist, dass das zwischen den Leiterflächen und der Rückenplatte (2) liegende Varistormaterial einen weiteren Spannungsbegrenzer zum Schutz angeschlossener Halbleiterbauelemente vor Überspannungen bildet.

3. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Varistormaterial des Substrats (3) eine Keramik auf der Grundlage eines Metalloxids, vorzugsweise ZnO, ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) grösser als 0,5 mm ist.

4. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Varistormaterial des Substrats (3) eine Keramik auf der Grundlage von SiC mit Eimengungen von BeO ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) grösser als 0,5 mm ist.

5. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in den Zwischenräumen zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats (3) Vertiefungen (10) im Substrat (3) vorgesehen sind.

6. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat (3) und der Rückenplatte (2) eine an das Substrat (3) angrenzende Zwischenleiterschicht (9), vorzugsweise aus Kupfer, und eine an die Rückenplatte (2) angrenzende Isolierkeramikschicht (8), vorzugsweise aus Al₂O₃, angeordnet sind.

7. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 2 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückenplatte (2) mit ihrer dem Substrat (3) abgewandten Seite mit einem Kühlkörper (1) in Kontakt steht.

8. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in Teilbereichen des Moduls Bauelemente direkt auf die Zwischenleiterschicht (9) aufgebracht sind.

9. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsbegrenzung des zwischen den Leiterflächen liegenden Substratmaterials im wesentlichen durch eine Verengung (12) des Zwischenraumes zwischen den Leiterflächen bestimmt ist.

10. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterflächen Kupferschichten mit einer Dicke von 0,2 - 0,5 mm sind, und mit dem Substrat über eine Lötsschicht aus einer eutektischen Kupfer-Kupferoxid-Legierung stoffschlüssig verbunden sind.

tungsmodul ist beispielsweise aus den BBC-Nachrichten, Heft 7, 1982, S. 196 - 200 bekannt.

In der Leistungselektronik geht man zunehmend zu einer hybriden Integration von Leistungs-Halbleiterbauelementen in sogenannten Modulen oder Sätzen über. Bei dieser Integration werden mehrere aktive und möglicherweise auch passive Baulemente in einem solchen Modul zusammengefasst.

Beim Aufbau eines Moduls der bekannten Art werden auf eine isolierende Al₂O₃-Keramik durch direktes Verbinden («direct bonding») mittels einer eutektischen Cu/CuO₂-Schmelze ein- oder beidseitig Cu-Bleche aufgebracht. Auf der Bauelementeseite, d.h. der Oberseite des Keramiksubstrats, werden dann Leiterbahnen und Montageflächen für die Lötmontage von Bauelementen, z.B. Halbleiterchips, Chipkondensatoren oder Chipwiderstände, herausgeätzt. Schliesslich werden Anschlusslaschen und die Bauelemente aufgelötet, wobei zur Erhöhung der Lastwechselfestigkeit auch noch Molybdän-Ronden zwischen Bauelement und Substrat gelötet werden können. Im Falle von abschaltbaren Thyristorelementen (Gate-Turn-Off-Elementen) werden beispielsweise die Gate- und Kathodenanschlüsse durch Aluminium-Bonddrähte hergestellt.

Nach Beendigung des elektrischen Aufbaus wird das beschriebene Modul gekapselt und vergossen und auf diese Weise gegen störende Umwelteinflüsse geschützt. Es stehen dann beispielsweise gesteuerte Thyristorbrücken für Gleichströme von etwa 20 A, Spitzensperrspannungen bis 1,4 kV und einer elektrischen Isolationsfestigkeit von mindestens 2,5 kV zur Verfügung, die in einem Normgehäuse aus Kunststoff untergebracht sind.

Den vielen Vorteilen solcher Module wie reduzierter Montageaufwand, Schaltungsvereinfachung oder erhöhte Funktionssicherheit, steht ein gewichtiger Nachteil gegenüber, der besonders bei der Tendenz zu immer grösseren und auch komplexeren Modulen ins Gewicht fällt: Wird nur ein Bauelement oder Bonddraht innerhalb eines Moduls durch Überlastung zerstört, ist das gesamte Modul weitgehend unbrauchbar geworden, weil eine Reparatur an der vergossenen Schaltung nicht durchgeführt werden kann. Es ist daher wünschenswert, eine Überlastung einzelner Bauelemente oder Verbindungsdrähte direkt innerhalb eines Moduls der beschriebenen Art zu verhindern.

Aus der US-PS 3 896 480 ist es bekannt, ein einzelnes, gegen Überspannungen empfindliches Halbleiterbauelement in seinem Gehäuse dadurch zu schützen, dass in dieses Gehäuse ein Ring aus Varistormaterial als Shuntwiderstand integriert wird. Die Anwendung eines solchen Varistorrings ist jedoch auf ein einzelnes Bauelement, wie z.B. einen Leistungsthystistor, beschränkt, und kann daher nicht auf ein hybrides Modul mit mehreren Halbleiterbauelementen übertragen werden. Zudem sind Herstellung und Einbau der Ringe aufwendig und mit erheblichen zusätzlichen Kosten verbunden.

Aus der WO-A1 83/01153 ist weiterhin eine integrierte Schutzschaltung für hybride oder monolithische ICs mit MOS-Elementen bekannt, bei der auf den elektrischen Anschlussbahnen eine dünne Schicht aus Varistormaterial abgeschieden wird und zwischen den Anschlussbahnen und einer über der Variorschicht liegenden Metallaisierung eine Reihe von Spannungsbegrenzer-Elementen bildet. Eine solche nachträglich aufgebrachte Variorschicht von weniger als 100 µm Dicke, die mehrere zusätzliche Verfahrensschritte notwendig macht, führt zu Begrenzspannungen in der Größenordnung von 50 V, die zwar für empfindliche MOS-Elemente geeignet sind, für Module der Leistungselektronik mit Sperrspannungen im kV-Bereich aber nicht ausreichen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein elektronisches Schaltungsmodul mit einem integrierten Überspannungsschutz zu schaffen, der für das gesamte Modul in einfacher